



Programación Python para Big Data

Lección 9: Quantum Computing

ÍNDICE

Lección 9. – Quantum Computing	2
Presentación y objetivos	2
1. Limitaciones en los Ordenadores “Tradicionales”	3
2. Quantum Supremacy (Supremacía Cuántica).....	4
3. Qué es un Qubit (cúbit)	5
4. Qubit y estados de la máquina	6
5. Superposición, interferencia y entrelazamiento.....	7
6. Decoherencia Cuántica y número de Qubits	8
7. Operaciones y computación	9
8. Puntos de investigación en Quantum Computing	10
9. Empresas Tecnológicas y Quantum Computing.....	11
10. Sectores posibles para Quantum Computing.....	12
11. Frameworks en Quantum Computing	13
12. Creación de una cuenta en IBM Quantum Computing	16
13. Nuevo Notebook en IBM Quantum Computing	18
14. Cerrar sesión en IBM Quantum Computing	21
15. Puntos clave.....	23

Lección 9. – Quantum Computing

PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Los últimos años están siendo determinantes en la Investigación relacionada con la Computación Cuántica, la cual, pretende hacer ordenadores mucho más rápidos que los que tenemos en la actualidad.

El reto de la computación clásica es que solo puedes ejecutar un cálculo al mismo tiempo, entonces, para un largo dataset, es algo lento de leer, por ejemplo. (Aunque ya hemos visto algunas tecnologías como VAEX que pretenden cambiarlo incluso para un ordenador común y corriente).

Esta interesante tecnología, la *Computación Cuántica (Quantum Computing)*, combina *Física Cuántica, Informática y Tecnologías de la Información*.

Cada día se almacenan millones de datos, y esto va en aumento, e irá mucho más con tecnologías como *Internet Of Things (IoT)*, por lo que podemos intuir que el Big Data, pues, es uno de los campos donde tendrá una gran repercusión, de modo que este contenido ha sido incluido en la asignatura.

(NOTA: El Contenido de esta Asignatura ha sido creado entre Mayo y Agosto de 2021)



Objetivos

- | Conocer Quantum Computing y el gran potencial que tiene

1. LIMITACIONES EN LOS ORDENADORES “TRADICIONALES”

Cuando necesitamos resolver con un ordenador operaciones complejas, difíciles, que requieren de mucho procesamiento, el ordenador, a menudo, no es tan rápido como nos gustaría. Es por ello, que podemos elegir otro más potente, normalmente de mayor precio, o buscar otra alternativa.

No obstante, existen cálculos que serían/son muy lentos de resolver y muchos de ellos que incluso no podrían ser resueltos en muchos años por el supercomputador más potente del planeta.

Es por ello, que sobre todo en los últimos años (aunque desde hace tiempo), se está investigando en “Quantum Computing” (computación cuántica) con la idea de conseguir con esta tecnología mejoras sobre la computación clásica.

Esta tecnología pretende hacer Ordenadores Cuánticos, que sean muchísimo más rápidos que los que tenemos actualmente.

PERO! El objetivo de esta tecnología es resolver problemas que NO podrían ser resueltos en un tiempo razonable por un ordenador actual. No es objetivo de todo ese esfuerzo que se resuelva un problema en 1 hora, si ese problema podría ser resuelto en 2 horas por un ordenador disponible en la actualidad. (Incluso en 1 día, por ejemplo).

Estamos hablando de problemas que se resolverían en varios años, incluso cientos de años.

Quantum Computing (La computación cuántica) promete, entonces, resolver problemas de gran complejidad, que requieren de muchos requisitos de computación, problemas que podrían ser imposibles de resolver por ordenadores tradicionales, mediante la aplicación de mecánica cuántica en computación.

2. QUANTUM SUPREMACY (SUPREMACÍA CUÁNTICA)

Google anunció en 2019 que había logrado la Supremacía Cuántica y fue publicado en Nature, una de las más prestigiosas revistas científicas.

En este Link puedes encontrar la información:

<https://www.nature.com/articles/s41586-019-1666-5>

Google afirma que ha logrado resolver en 200 segundos lo que un super ordenador clásico habría tardado 10.000 años.

De tal modo que lo que se busca es resolver con un ordenador cuántico algo, que, con uno clásico no sería viable, tal y como se ha comentado.

No obstante, ya hay personas y empresas que no confían en esta afirmación. (Aunque es cierto que algunas de esas empresas son “rivales” directos en Quantum Computing de Google).

Entre los argumentos hay varios, algunos afirman que se debe primero desarrollar un sistema de corrección de errores para que la máquina cuántica funcione correctamente, y hay otros, por ejemplo, que piensan que a medida que aumente la complejidad de la máquina cuántica es más probable que se comporte como una máquina clásica, entonces el proyecto no tendrá futuro, de una u otra forma.

En el artículo de “Nature” afirman que su procesador cuántico *Sycamore* incorpora 53 qubits (cúbits) superconductores.

(El experimento de Google empleó supuestamente 54 Qubits, de los cuales 53 funcionaron correctamente). – Ya explicaremos qué es un Qubit.

En el experimento han utilizado un generador de números pseudoaleatorios.

Existen discrepancias en la comunidad científica pero todos están, pese a ello, de acuerdo en que todavía queda mucho trabajo por hacer.

Así que **el tiempo dirá si se alcanzó realmente esta supremacía o no.**

Y, si esta tecnología puede causar la revolución tecnológica que espera.

3. QUÉ ES UN QUBIT (CÚBIT)

Un bit es la unidad mínima de información en computación clásica.

Un bit puede ser 0 ó 1. (False/True, No/Sí, etc).

Qubit viene de quantum bit, o lo que es lo mismo un bit cuántico.

Un qubit es la unidad básica de información en computación cuántica.

Un qubit no tiene un valor único en un momento dado. Tienen una combinación de los 2 estados ("0" y "1"). Puede tener "mucho" de estado 1, y "poco" de "0", o bien por ejemplo "poco" de "1", y "mucho" de "0", etc.

Para hacer un ejemplo visual y simple, usaremos esta figura:

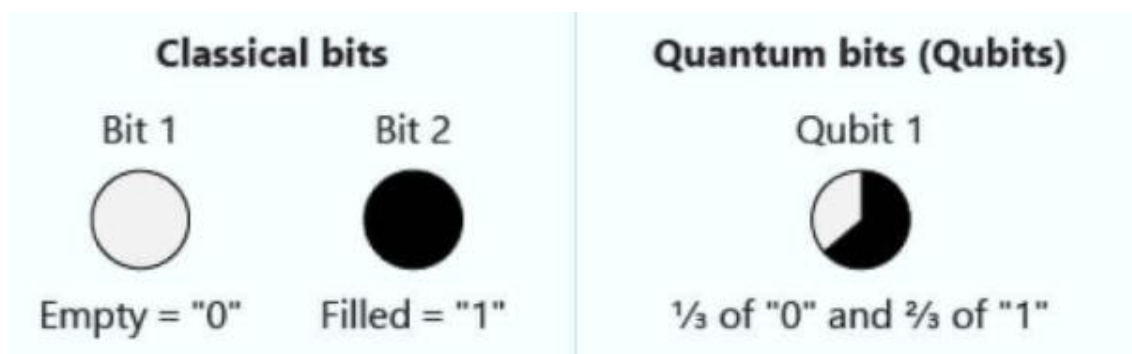


Figura 3.1: Bits Vs Qubits

Fuente de obtención de la imagen:

<https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-a-qubit/#introduction>

Un qubit utiliza los fenómenos de superposición de la mecánica cuántica para lograr una combinación lineal de 2 estados.

4. QUBIT Y ESTADOS DE LA MÁQUINA

Podemos indicar lo siguiente:

- | **En un ordenador “clásico” con “n bits”, que cada bit puede ser (“0” ó “1”) pero no ambos al mismo tiempo, la cantidad de información que contiene un estado concreto de la máquina tiene dimensión “n”. (Son varios “unos” o “ceros”. Ejemplo: 00001111010)**
- | **En un ordenador cuántico con “n qubits”, un estado concreto de la máquina tiene dimensión “2ⁿ”.**
Para un ordenador clásico si tenemos 3 bits tendríamos, por ejemplo “101” (que equivale al número 5 en decimal, pero no tiene importancia).
PERO ES UNA COMBINACIÓN CONCRETA PARA UN MOMENTO CONCRETO, Y SI VALE 101 NO VALE EN ESE MISMO MOMENTO 110..

Mientras que, el estado de un ordenador cuántico de 3 qubits equivale a todas las posibles combinaciones de 3 (“unos” y “ceros”) pero en una proporción concreta cada una (con un coeficiente).

Coeficiente1*000
Coeficiente2*001
Coeficiente3*010
Coeficiente4*011
Coeficiente5*100
Coeficiente6*101
Coeficiente7*110
Coeficiente8*111

(Es decir 2^n , en este caso 2^3 que son 8. Respecto a los coeficientes no indicaremos más información por no hacerlo más difícil de entender).

5. SUPERPOSICIÓN, INTERFERENCIA Y ENTRELAZAMIENTO

Los Qubits poseen características de una partícula cuántica, así pues:

| Superposición

Superposición, da la habilidad de tener 2 estados simultáneamente.

La superposición permite que los algoritmos cuánticos utilicen otros fenómenos de la mecánica cuántica.

| Interferencia

Los estados de los qubits pueden interferir entre sí, porque cada estado se describe mediante una amplitud de probabilidad, igual que las amplitudes de las ondas. (No conceder excesiva importancia en esta introducción).

| Entrelazamiento (entanglement)

Entrelazamiento cuántico, habilidad de codependencia de valores. Entonces podemos calcular el estado de un qubit basando en el otro.

Varios qubits pueden presentar entrelazamiento cuántico.

Los qubits entrelazados siempre se correlacionan entre sí para formar un único sistema, incluso cuando se encuentran alejados.

La medición del estado de uno de los qubits permite conocer el estado del otro sin medirlo directamente.

El entrelazamiento es necesario para cualquier cálculo cuántico y no se puede realizar de forma eficaz en un ordenador clásico

6. DECOHERENCIA CUÁNTICA Y NÚMERO DE QUBITS

| Concepto de Decoherencia

En nuestro entorno cotidiano no vemos efectos de la mecánica cuántica.

Estos efectos se aprecian en determinadas condiciones, en los experimentos.

Además, los estados cuánticos se mantienen durante un período de tiempo limitado, y ese es el tiempo en el que pudiéramos usar los qubits para llevar a cabo operaciones lógicas cuánticas.

Pasado ese tiempo los resultados obtenidos pudieran ser incorrectos.

A esto se llama “**decoherencia cuántica**”

La decoherencia cuántica, pues, se produce cuando desaparecen las condiciones necesarias para que un sistema que se encuentra en un estado cuántico entrelazado se mantenga, pasando a comportarse el sistema a partir de ese instante como dictan las reglas de la física clásica).

| Número de Qubits y errores

A mayor número de qubits, mayor complejidad, y mayor probabilidad de errores. (Aquí está uno de los grandes retos).

Para evitar que los qubits cambien de estado cuántico, los ordenadores cuánticos trabajan a temperaturas bajas, unos (aproximadamente) -273 grados Centígrados, por ello con un complejo sistema de refrigeración, de ahí la apariencia de estos ordenadores, muy diferente a día de hoy de los actuales.

Esta temperatura de trabajo, lo cual se conoce como cercana al “*cero absoluto*” permite que la energía interna del sistema sea lo más baja posible lo cual provoca que las partículas fundamentales carezcan de movimiento según los principios de mecánica clásica, pero, siempre habrá una energía residual, no obstante denominada “*Energía del punto cero*”.

7. OPERACIONES Y COMPUTACIÓN

Operaciones en Computación Clásica

Los elementos que nos permiten operar con bits en los ordenadores clásicos son las puertas lógicas, que implementan las operaciones lógicas del Álgebra de Boole.

| Puertas lógicas convencionales:

- **AND, OR, NOT, XOR, e incluso: NAND, NOR, etc.**

Son las operaciones con las que trabajan a bajo nivel los ordenadores que tenemos.

Cada una de ellas nos permite modificar el estado interno de la CPU.

Sobre esto tendrás una pequeña actividad, tal vez no dispongas de conocimientos para entender lo que estamos comentando.

No entraremos en “Mapas de Karnaugh”, integrados electrónicos etc., porque no tiene sentido, pero se pretende entender un poco por encima de lo que estamos hablando.

Operaciones en Computación Cuántica

Las puertas lógicas cuánticas que se han conseguido implementar actualmente en los procesadores cuánticos son pocas.

| Entre las puertas lógicas cuánticas tenemos:

- **CNOT, Hadamard, Toffoli, Pauli, Etc.**

Las puertas lógicas cuánticas se representan bajo la forma de matrices.

De esta forma, para calcular el resultado que obtendremos en la salida de la puerta cuántica tenemos que efectuar el producto de la matriz y el vector que representa el estado interno en un instante dado de nuestro ordenador cuántico.

8. PUNTOS DE INVESTIGACIÓN EN QUANTUM COMPUTING

Estos son algunos de los retos a los que se enfrentan los investigadores en Quantum Computing.

- | **Se necesitan cúbits de mayor calidad:** Tener cúbits de más calidad es necesario para dilatar la vida útil de la información cuántica.
- | **Se necesita un sistema de corrección de errores:** ayuda a garantizar que los resultados que entrega el ordenador cuántico son correctos. A medida que los grupos de investigación integran más cúbits en los ordenadores cuánticos resulta más difícil preservar la integridad del estado cuántico del sistema. Probablemente uno de los mayores retos es la corrección de errores.
- | **Herramientas de control precisas:** Necesarias para que nos permitan controlar los ordenadores cuánticos con precisión y llevar a cabo más operaciones lógicas con ellos.
- | **Mejoras en la Arquitectura del Ordenador Cuántico:** Todo lo relacionado con la electrónica de control, el procesador de control cuántico o los compiladores cuánticos.

Todos estos puntos de investigación tratan de lograr la creación de un ordenador Cuántico, el cual, probablemente no se vea hasta dentro de unos cuantos años. Aunque probablemente desde este año 2021 en adelante ocurran grandes avances.

Es un reto que haya suficientes Qubits trabajando juntos de forma confiable.

Los expertos estiman en cientos a millones de Qubits para que se pueda conseguir lo que se espera.

9. EMPRESAS TECNOLÓGICAS Y QUANTUM COMPUTING

Actualmente existen varias empresas de diferentes lugares del mundo que están ya compitiendo en ver cual crea el mejor ordenador.

En el caso de lugares como Estados Unidos y China, a su vez, probablemente logren antes su objetivo, porque están más avanzados, En el caso concreto de Europa se encuentran 2 lugares bastante avanzados en este tema, uno de ellos en Delft (Países Bajos) y el otro en Alemania.

- | **China afirma tener un supercomputador Quantum de 66-qubits llamado “Zuchongzhi”** que afirman resolvió un problema en aproximadamente 1 hora y que ese mismo problema el superordenador clásico más potente tardaría 8 años.
- | **En 2019 Google anunció que habían logrado la supremacía Quántica (“Quantum Supremacy”) con su Procesador “Sycamore”** que fue capaz de calcular en 200 segundos algo que el mejor supercomputador clásico hubiera tardado 10.000 años. Aun así en este momento están saliendo artículos procedentes de China afirmando que tienen mejores resultados que Google.
- | **IBM es otra de las empresas que tienen Quantum Computing como uno de sus proyectos tal y cómo veremos posteriormente. IBM espera tener una máquina de 1000 Qubit para 2023**
- | **Hay muchas más empresas incluyendo algunas “startups”** , cada vez hay más noticias al respecto.

Se está viendo en los últimos meses que está aumentando la inversión en Computación Cuántica, de hecho.

10. SECTORES POSIBLES PARA QUANTUM COMPUTING

Ejemplos de algo que con computación cuántica se puede hacer más rápido:

- | Obtener números primos de un número muy grande
- | Obtención de números pseudo-aleatorios,
- | Etc.

(De hecho esto tiene que ver con los experimentos que suelen emplearse)

En cuanto a los campos de acción, con ejemplos concretos:

- | **Ciberseguridad:** en encriptación, aprovechando su capacidad de hacer millones de computaciones.
Aunque también se está hablando, al mismo tiempo, de una mayor inseguridad por la potencia de esos ordenadores cuánticos.
- | **Internet cuántico:** en desarrollo el estudio del mismo en varios lugares del mundo.
- | **Criptografía:** para algunas aplicaciones, como criptografía, un ordenador clásico puede tardar 1.000 millones de años en romper una clave criptográfica RSA. Un ordenador cuántico podría hacerlo en minutos.
- | **Healthcare** (asistencia sanitaria): Los ordenadores cuánticos podrían ser usados para valorar todos los posibles escenarios, y así poder valorar la mejor solución para pacientes.
- | **Big Data e Inteligencia Artificial:** Capacidad para entrenar grandes modelos de datos de una forma muy rápida.
- | **Problemas cotidianos:** como Optimización del tráfico. El mundo, teóricamente, sigue leyes cuánticas, entonces podrían los problemas ser resueltos con ordenadores cuánticos.

11. FRAMEWORKS EN QUANTUM COMPUTING

Hay varios Frameworks, entre los cuales podríamos mencionar:

Strawberry Fields

Una librería Python Full-Stack hecha para diseñar, optimizar y utilizar Ordenadores cuánticos fotónicos.

La empresa que lo ha creado es “Xanadu”, que se encuentra en Toronto.

La librería también incluye simuladores cuánticos los cuales fueron contruidos en NumPy y TensorFlow

La librería proporciona herramientas para resolver problemas en el campo de la Química

Web:

<https://strawberryfields.readthedocs.io/en/stable/introduction/introduction.html>

La empresa, Xanadu, también ha creado otra librería para Quantum Machine Learning, que se llama: PennyLane

<https://pennylane.ai/>

Cirq

Desarrollado por el Quantum AI Team de Google.

Usado para desarrollar y optimizar “quantum circuits” (circuitos cuánticos)

Link:

<https://quantumai.google/cirq>

En el próximo tema tal vez tengamos oportunidad de ver algo sobre CIRQ de una u otra forma. **Se programa con Python.**

TensorFlow Quantum

Librería dedicada a la Inteligencia Artificial con Quantum Computing

TensorFlow Quantum (TFQ) es un Framework desarrollado para Quantum Machine Learning

https://www.tensorflow.org/quantum/tutorials/hello_many_worlds

Quantum Development Kit & Q#

Microsoft ofrece un Framework y también un Lenguaje de Programación.

Q# es un Lenguaje de Programación de alto nivel enfocado en Quantum Computing. Proporciona interoperabilidad con Python.

Microsoft también ofrece servicios de computación cuántica con “Azure Quantum” que se puede encontrar en este Link:

<https://azure.microsoft.com/es-es/services/quantum/#features>

Proporcionando la funcionalidad de operar los circuitos cuánticos en hardware cuántico real.

El Link del Lenguaje de Programación Q#:

<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/quantum/user-guide/programs>

y el Link del Quantum Development Kit es:

<https://docs.microsoft.com/en-us/azure/quantum/install-get-started-qdk>

Qiskit

Es un Framework open source. Se programa en Python.

Con Qiskit puedes construir circuitos cuánticos y fácilmente ejecutarlos incluso en simuladores.

Link: https://qiskit.org/documentation/getting_started.html

Amazon AWS Braket

Es relativamente nuevo

El Link: <https://aws.amazon.com/es/braket/>

Según la propia web brindan acceso a:

- Hardware cuántico basado en qubits superconductores de Rigetti

<https://www.rigetti.com/>

- Computadores cuánticos de trampa de iones desde IonQ

<https://ionq.com/>

- Tecnología de temple cuántico basada en qubits superconductores de D-Wave

<https://www.dwavesys.com/>

Rigetti Computing

Es uno de los mejores fabricantes de Hardware.

Proporcionan su propio Framework de programación: PyQuil

Puedes correr programas en su Quantum Cloud Service (QCS) o en AWS Braket.

12. CREACIÓN DE UNA CUENTA EN IBM QUANTUM COMPUTING

<https://quantum-computing.ibm.com/>

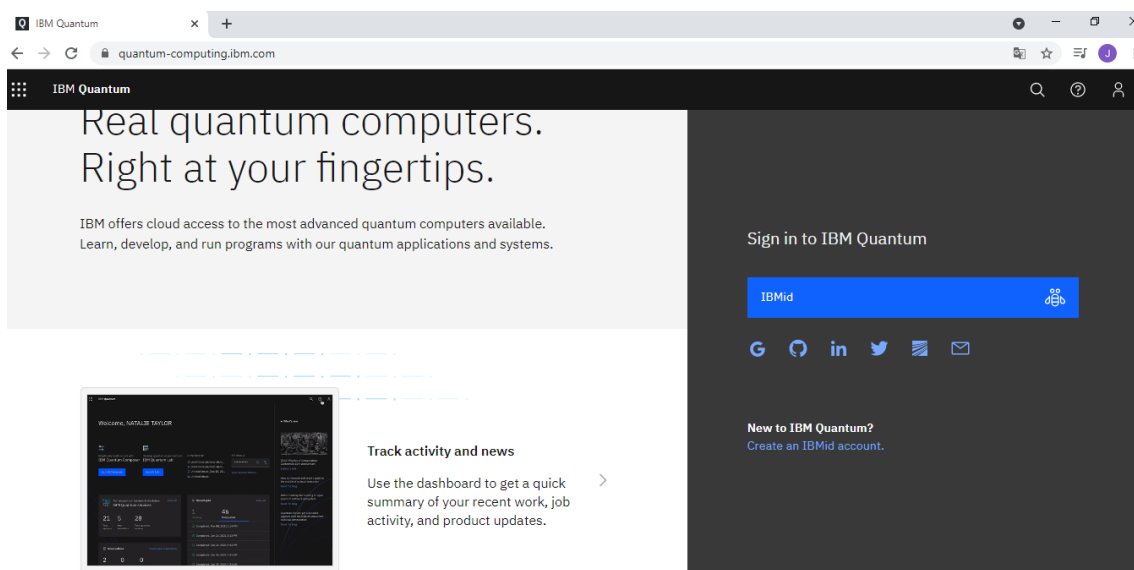


Figura 12.1: Cuenta en IBM Quantum (parte 1)

Figura 12.2: Cuenta en IBM Quantum (parte 2)

Ahora debes registrarte..

Y una vez nos registramos tenemos algo tal que así:

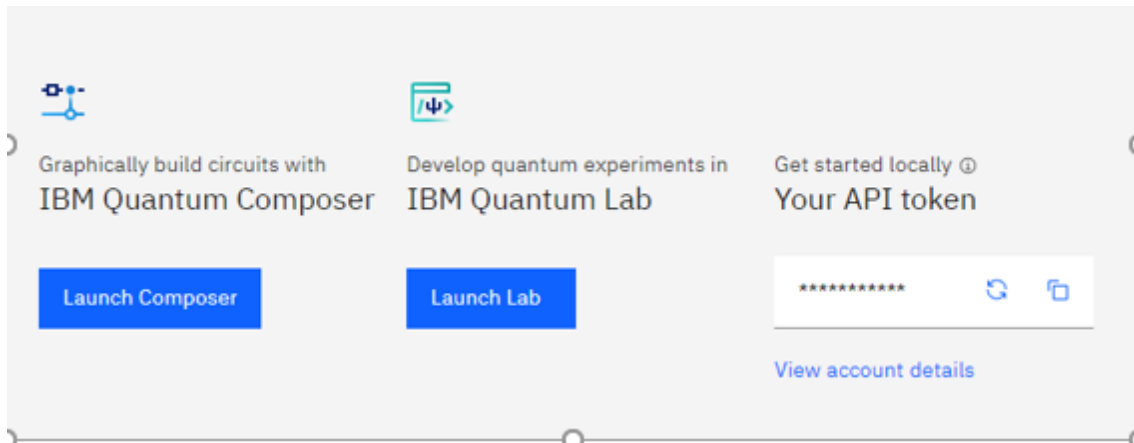


Figura 12.3: Cuenta en IBM Quantum (parte 3)

Ahí tenemos el API Token, que podemos copiarlo para conectarnos desde Jupyter, en la opción de la derecha.

También podríamos crear un Notebook como explicaremos a continuación.

No obstante, lo que haremos será usar el API Token para ejecutar nuestro código en Hardware de IBM, una vez lo hayamos probado en nuestro ordenador.

13. NUEVO NOTEBOOK EN IBM QUANTUM COMPUTING

Ya hemos mencionado que no se seguirá este procedimiento de trabajo en esta asignatura, pero, se pretende mostrar que también sería posible esta opción. Entonces iremos al “IBM Quantum Lab” solo para mostrar.

Para ello se hará click en el botón del medio “Launch Lab”, y ahí en “File”..

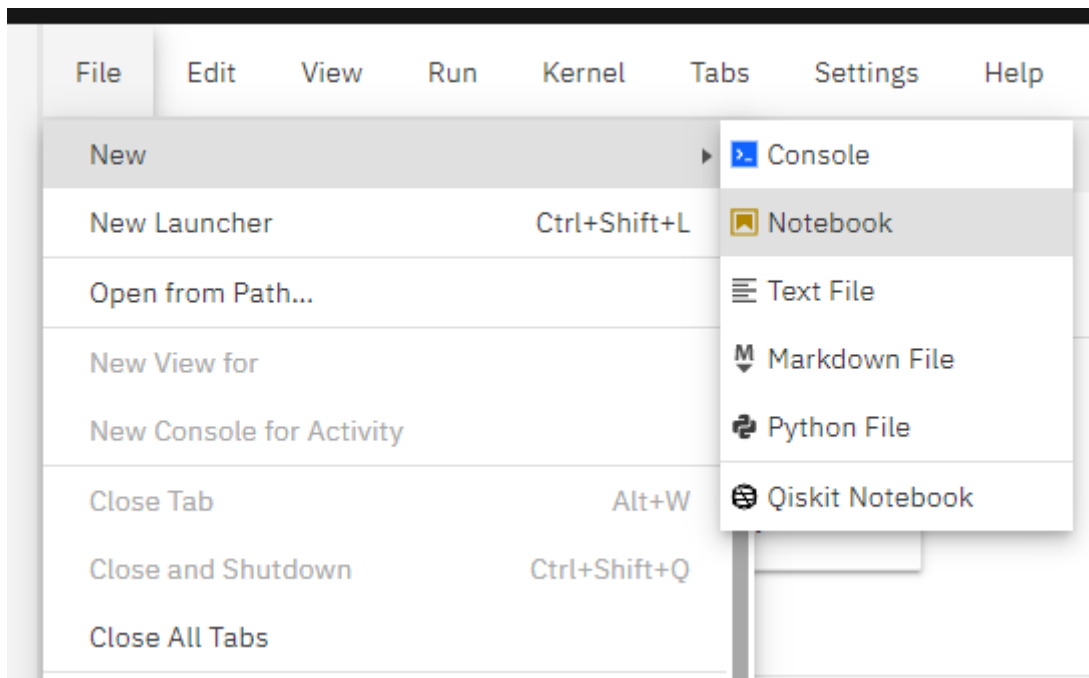


Figura 13.1: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 1)

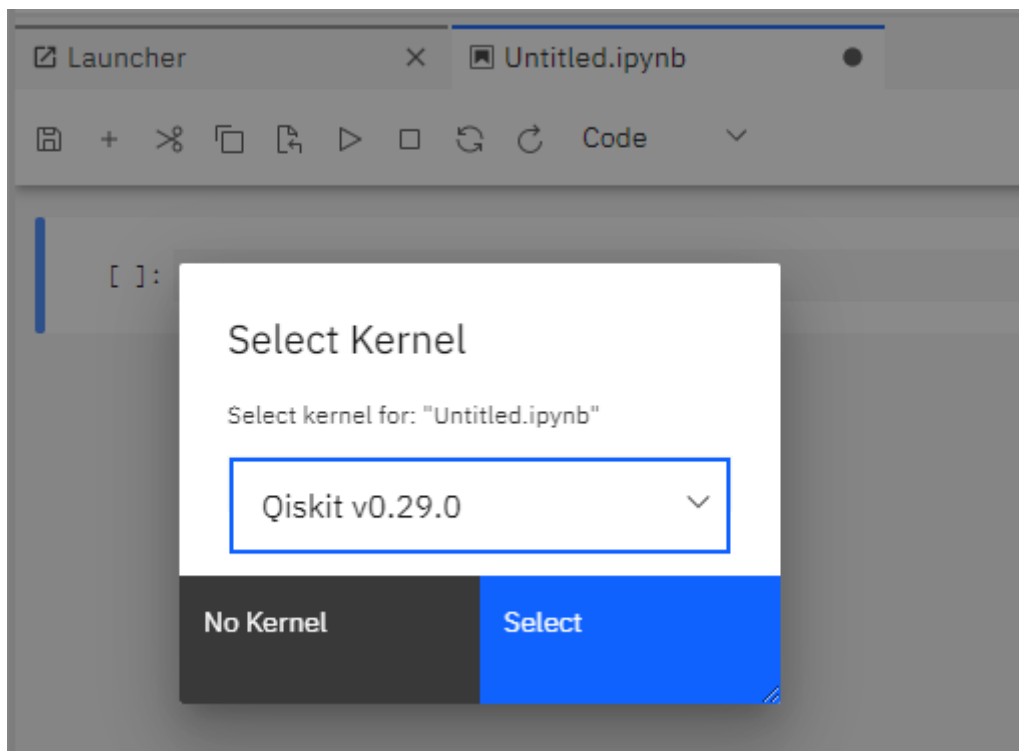
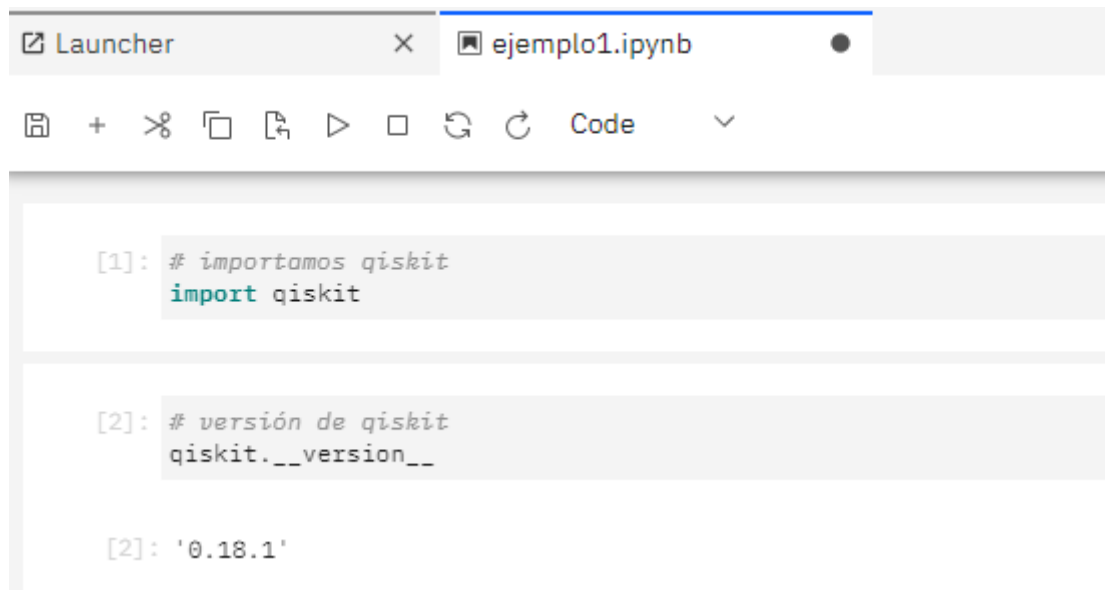


Figura 13.2: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 2)

Podemos programar sobre el propio Notebook, como veremos a continuación, pero **lo ideal, al principio es hacer en el Jupyter Notebook de forma local. (En nuestro ordenador usando el Jupyter Notebook que tenemos instalado).**

Y después tendremos más opciones de ejecución.



```
[1]: # importamos qiskit
import qiskit

[2]: # versión de qiskit
qiskit.__version__

[2]: '0.18.1'
```

Figura 13.3: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 3)

qiskit.__qiskit_version__

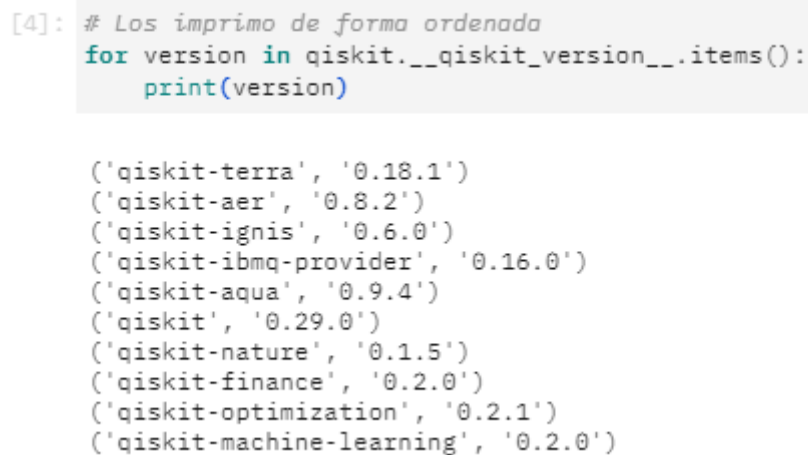


```
[3]: # versión completa
qiskit.__qiskit_version__

/opt/conda/lib/python3.8/site-packages/qiskit/aqua/__init__.py:86: DeprecationWarning: The package qiskit.aqua is deprecated. It was moved/refactored to qiskit-terra. For more information see <https://github.com/Qiskit/qiskit-aqua/blob/main/README.md#migration-guide>
warn_package('aqua', 'qiskit-terra')

[3]: {'qiskit-terra': '0.18.1', 'qiskit-aer': '0.8.2', 'qiskit-ignis': '0.6.0', 'qiskit-ibmq-provider': '0.16.0', 'qiskit-aqua': '0.9.4', 'qiskit': '0.29.0', 'qiskit-nature': '0.1.5', 'qiskit-finance': '0.2.0', 'qiskit-optimization': '0.2.1', 'qiskit-machine-learning': '0.2.0'}
```

Figura 13.4: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 4)



```
[4]: # Los imprimo de forma ordenada
for version in qiskit.__qiskit_version__.items():
    print(version)

('qiskit-terra', '0.18.1')
('qiskit-aer', '0.8.2')
('qiskit-ignis', '0.6.0')
('qiskit-ibmq-provider', '0.16.0')
('qiskit-aqua', '0.9.4')
('qiskit', '0.29.0')
('qiskit-nature', '0.1.5')
('qiskit-finance', '0.2.0')
('qiskit-optimization', '0.2.1')
('qiskit-machine-learning', '0.2.0')
```

Figura 13.5: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 5)

14. CERRAR SESIÓN EN IBM QUANTUM COMPUTING

Y para cerrar la sesión: “Shut down All”, Después podemos hacer click en “Close All”.

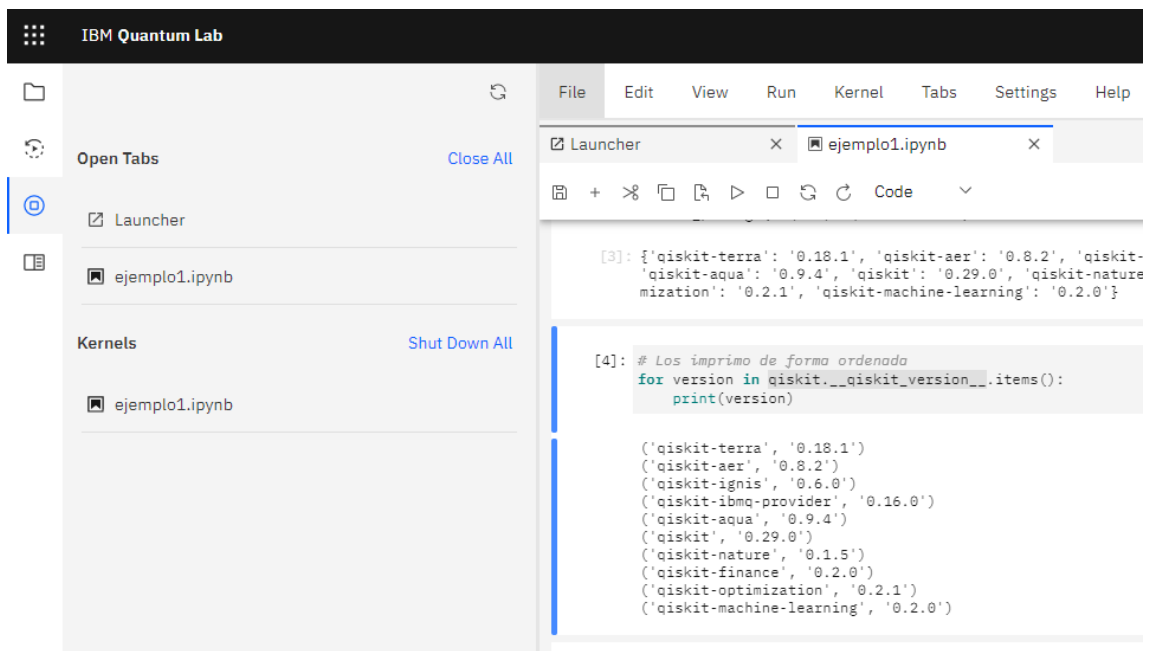


Figura 13.6: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 6)

Y para salir de la página, en el extremo superior derecho,

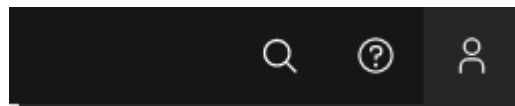


Figura 13.7: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 7)

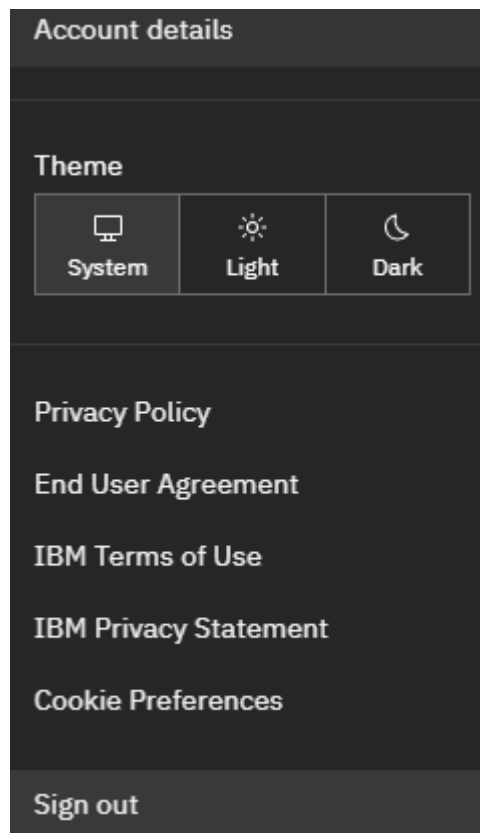


Figura 13.8: Notebook en IBM Quantum Computing (parte 8)

En “Sign out” saldremos de la aplicación.

Como decimos, no obstante, lo que se hará será ejecutar en local lo que se haga y dentro de un tiempo, cuando sepamos muy bien Computación Cuántica podríamos volvernos a este lugar, pero no ahora.

Explicarlo ha tenido como objetivo simplemente contar una opción disponible. Pero ahora veremos la forma de trabajar que seguiremos de manera inicial.

Abrir la cuenta, además nos permite tener un API Token, y eso sí será necesario para la lección 10.

15. PUNTOS CLAVE

- | La computación cuántica es un campo importante de investigación en este momento y aspira a tener importantes mejoras para los próximos años la cual repercutirá directamente en el campo del Big Data, entre otros.
- | Existen varios Frameworks en Quantum Computing en los cuales puedes trabajar con Python, lo cual es asombroso!

